

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(12) Patentschrift
(10) DE 195 46 873 C1

(51) Int. Cl. 8:

G 01 S 11/12

F 41 H 11/02

(3)

(21) Aktenzeichen: 195 46 873.2-35
(22) Anmeldetag: 15. 12. 95
(43) Offenlegungstag: —
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 15. 5. 97

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:

Daimler-Benz Aerospace Aktiengesellschaft, 81663
München, DE

(72) Erfinder:

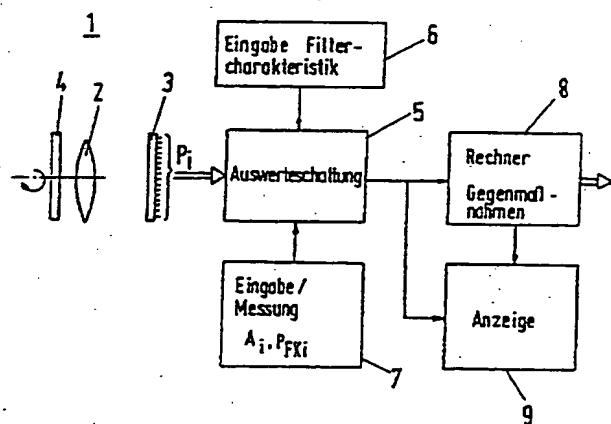
Winterling, Gerhard, Prof. Dr., 83607 Holzkirchen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 37 38 222 C1
US 50 28 129
US 31 03 586

(54) Verfahren zum Bestimmen der Entfernung eines durch die Atmosphäre fliegenden Objektes und Vorrichtung
zur Durchführung des Verfahrens

(57) Um die Entfernung und/oder Geschwindigkeit eines anfliegenden Objektes, vorzugsweise eines selbstgetriebenen Flugkörpers, von einem Beobachtungsort, z. B. einem Flugzeug aus zu bestimmen, wird die Strahlung des Flugkörpers von einem passiven, vorzugsweise abbildenden Sensor (3) bei zwei unterschiedlichen Wellenlängen bzw. schmalen Wellenlängenbereichen erfaßt. Dabei werden die Wellenlängen so gewählt, daß die atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten unterschiedlich und bekannt sind. Der Quotient der Sensorsignale für die unterschiedlichen Wellenlängen hängt im wesentlichen exponentiell von der Entfernung zwischen Objekt und Beobachtungsort ab, so daß daraus die Entfernung und entsprechend die relative Geschwindigkeit zwischen Objekt und Beobachtungsort bestimmt werden können.



DE 195 46 873 C1

BEST AVAILABLE COPY

DE 195 46 873 C1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Bestimmen der Entfernung eines durch die Atmosphäre fliegenden Objektes und auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

5 Insbesondere ist die Erfindung von Bedeutung, wenn ein Flugzeug von einem selbstgetriebenen Flugkörper bedroht wird. Die meisten Flugkörper kurzer und mittlerer Reichweite haben in der Regel einen Infrarot-Suchkopf, der auf vom Flugzeug abgegebene Strahlung, hauptsächlich Strahlung von den Triebwerken empfindlich ist und nach einem zielsuchenden Lenkverfahren arbeitet. Derartige Lenkflugkörper sind relativ einfach herzustellen und können auch aus schultergetragenen Waffen, sogenannten Fliegerfäusten abgeschossen werden.

10 Da solche Flugkörper — im Gegensatz zu radargelenkten — passiv ihr Ziel ansteuern, sind Warnsensoren von wachsender Bedeutung, um rechtzeitig und auch zum richtigen Zeitpunkt Gegenmaßnahmen gegen derartige anfliegende Flugkörper auslösen zu können.

15 Prinzipiell sind zwei Arten von Warnsensoren möglich, nämlich aktive und passive Warnsensoren. Aktive Warnsensoren arbeiten herkömmlicherweise nach dem Doppler-Radarprinzip, womit im Rahmen der Auflösung sofort Daten über Entfernung und/oder Geschwindigkeit des anfliegenden Flugkörper erhalten werden. Die bedrohenden Flugkörper, insbesondere kleine Boden-Luft-Flugkörper kürzerer Reichweite, haben jedoch in der Regel einen nur sehr geringen Radarquerschnitt, so daß die Reichweite solcher aktiver Warnsensoren beschränkt ist. Nachteilig ist auch, daß aktive Warnsensoren durch ihre Abstrahlung verräderisch sind.

20 Bevorzugt werden deshalb in Zukunft passiv arbeitende Warnsensoren verwendet, da mit diesen Sensoren Flugkörper mit kleinem Radarquerschnitt auch bei größeren Entfernungen detektiert werden können; zudem haben sie das Potential einer besseren Winkelauflösung. Nachteilig im Vergleich zu einem aktiven Warnsensor ist, daß ein passiver Warnsensor keine direkte Bestimmung der Entfernung und/oder der Relativgeschwindigkeit des anfliegenden Flugkörpers erlaubt.

25 Es bestünde nun die Möglichkeit, zwei passive Warnsensoren an den Enden einer Basis anzuordnen und zu kombinieren, wodurch dann die Entfernung eines Objektes durch Triangulation wenigstens grob abgeschätzt werden könnte. Hierzu sind aber Sensoren mit einer sehr guten Winkelauflösung notwendig. Abbildende elektro-optische Sensoren, die in den hier interessierenden Spektralbereichen des Ultravioletts oder des mittleren Infrarots arbeiten und heute in der Entwicklung sind, werden eine Winkelauflösung von etwa 1° erreichen. Es kann dann abgeschätzt werden, daß diese Winkelauflösung bei der Installation auf Flugzeugen — wegen der kurzen Basislänge — gerade ausreicht, um die Entfernung des anfliegenden Flugkörpers bis etwa 600 Meter einigermaßen quantitativ anzugeben. Es ist aber gerade der Bereich größerer Entfernungen von mehr als 1500 Metern, in dem eine Kenntnis der Entfernung und/oder der Geschwindigkeit des sich nähern Flugkörpers wichtig ist, um Gegenmaßnahmen zur Abwehr rechtzeitig und damit effektiv durchführen zu können.

30 35 Gegenmaßnahmen sind z. B. die Ablenkung des Flugkörpers durch Aussetzen von strahlenden Scheinzielen, wie Infrarot-Tauschkörpern etc., oder letztendlich die Störung bzw. Zerstörung des anfliegenden Flugkörpers bzw. dessen Suchkopfes mit Hilfe von gerichteten Gegenmaßnahmen.

Wenn man die Reaktions- und Verzögerungszeiten bei der Abwehr des anfliegenden Flugkörpers mit ausgesetzten Scheinzielen in Betracht zieht, so zeigt sich, daß insbesondere bei Großflugzeugen nur dann gute Ergebnisse erzielt werden können, wenn der anfliegende Flugkörper bereits in einer Entfernung von mehr als 2,5 km erfaßt wird.

40 Ebenso muß eine Zerstörung des Suchkopfes des anfliegenden Flugkörpers, z. B. mit Hilfe von Laserstrahlung, in einer solchen Entfernung erfolgen, daß der anfliegende Flugkörper nach der Zerstörung des Suchkopfes auch tatsächlich das Flugzeug verfehlt. Die Minimalentfernung, in der der Flugkörper erfaßt werden muß, um einen Abwehrerfolg zu haben, hängt von verschiedenen Parametern ab, so z. B. auch vom relativen Winkel zwischen 45 Flugkörper und Flugzeug, der Winkeländerung und von der relativen Geschwindigkeit zwischen Flugzeug und Flugkörper. Es zeigt sich, daß diese Minimalentfernung bei einer Sensor(zer)störung sogar noch größer als im Fall des Aussetzens von Scheinzielen gewählt werden muß.

In der DE 37 38 222 C1 wird ein Verfahren beschrieben, um Flugkörper störsicher auch gegenüber einem Hintergrund bzw. ausgesetzten Scheinzielen orten zu können. Dies wird dadurch erreicht, daß auf dem zu 50 ortenden Flugkörper ein modulierbarer Referenzstrahler angebracht wird und daß andererseits der Detektor nur Signale mit vorbestimmten Modulationsfrequenzen weiterverwertet. Zur Bestimmung der räumlichen Winkellage wird ein Detektor-Array verwendet, wodurch es möglich ist, ein Scheinziel von dem zu ortenden Flugkörper räumlich zu trennen. Dieses erlaubt zwar eine Auflösung des Raumwinkels des zu ortenden Flugkörpers, aber nicht die Bestimmung seiner Entfernung. Weiter sei noch angemerkt, daß die meisten anfliegenden Flugkörper keinen modulierten Referenzstrahler besitzen, so daß dieses Verfahren für den hier relevanten Fall praktisch nicht anwendbar ist.

55 Eine weitere prinzipielle Möglichkeit, mit einem passiven Sensor die Entfernung eines Objektes grob zu bestimmen, ist in der US 3 103 586 für einen Wärmestrahlung abgebenden Körper beschrieben. Der Patentschrift liegt die Idee zugrunde, die Entfernung nicht aktiv — wie beim Radar — sondern passiv zu bestimmen, indem die von einem Körper ausgehende Wärmestrahlung in zwei spektralen Banden gemessen wird, wobei eine der Meßbanden in einer Absorptionsbande des atmosphärischen CO₂ oder des Wasserdampfs, die andere Bande in einem benachbarten Spektralbereich liegt, dessen atmosphärische Transmission nicht durch diese Absorptionsbande beeinträchtigt wird. Durch Messung der in den beiden Banden detektierten Strahlungsleistungen mit einem IR-empfindlichen Detektor kann — bei bekannter Konzentration des absorbierenden Gases und bekannter Temperatur des strahlenden Körpers — die Entfernung aus dem Verhältnis der detektierten Strahlungsleistungen bestimmt werden.

60 65 Nachteilig an diesem Verfahren ist, daß bei der Detektion kleiner Objekte mit wachsender Entfernung mehr und mehr Hintergrundstrahlung mit auf den Detektor fällt, so daß das Signal-Rausch-Verhältnis mit wachsender

Entfernung immer schlechter wird, wodurch dann die Entfernung nicht mehr bestimmt werden kann. Zwar ist es prinzipiell möglich, unter Zuhilfenahme einer Vergrößerungsoptik das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern, jedoch wird diese Verbesserung mit einer Verkleinerung des Gesichtsfeldes erkauft, so daß die eigentliche Aufgabenstellung eines Warnsensors — d. h. die Warnung über ein größeres Gesichtsfeld — verfehlt wird.

Somit kann mit der in obiger Patentschrift beschriebenen Vorrichtung die Entfernung bei kleineren Objekten, wie anfliegenden Flugkörpern, nur im Nahbereich bestimmt werden, und hier sind ähnliche Entfernungsbeschränkungen wie die Triangulationsmethode mit mehreren auf dem Flugzeug installierten Sensorköpfen gegeben. 5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit denen Daten eines anfliegenden Objektes schneller und genauer als bisher bereits aus größeren Entfernungen zur Verfügung gestellt werden können, um effektiv Gegenmaßnahmen gegen das anfliegende Objekt ergreifen zu können. 10

Diese Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens mit dem Gegenstand des Patentanspruches 1, bezüglich der Vorrichtung mit dem Gegenstand des Patentanspruches 8 gelöst.

Demgemäß werden ein Verfahren und eine Vorrichtung mit einem abbildenden passiven Sensor vorgeschlagen, der in mindestens zwei Wellenlängenbereichen, in denen die atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten unterschiedlich sind, das sich nähernde Objekt detektiert. 15

Durch Verwendung eines abbildenden Sensors, insbesondere mit einer größeren Zahl von Detektorelementen, wird im Vergleich zur US 3 103 586 erreicht, daß auch in größerer Entfernung das Signal-Rausch-Verhältnis noch akzeptabel ist und somit eine Entfernungsbestimmung ermöglicht wird.

Die Erfassung des Objektes in mehreren Wellenlängenbereichen kann z. B. dadurch erfolgen, daß vor das optische System des passiven Warnsensors ein rotierender Filter vorgeschaltet wird, der aus mehreren Sektoren besteht, deren Transmissionsbereiche entsprechend den gewählten Wellenlängenbereichen unterschiedlich sind. Die Sensorsignale entsprechend der von dem Sensor detektierten Strahlungsleistung des anfliegenden Objektes bei den unterschiedlichen Wellenlängen können nun herangezogen werden, um unter Berücksichtigung der Differenz der atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten die Entfernung und/oder Geschwindigkeit des Objektes, z. B. eines ein Flugzeug anfliegenden Flugkörpers, zu ermitteln. Im Prinzip ist für diese Bestimmung eine räumliche Auflösung des Objektes mit einem abbildenden Sensor nicht notwendig, sofern nur von einem Detektorelement das gesamte Objekt, bzw. zumindest dessen die Strahlungsleistung abgebenden Teile — ohne störende Hintergrundstrahlung — erfaßt werden. Bei großen Entfernungen des Objektes kann das Signal eines Einzeldetektors, d. h. ein Pixel ausreichen, während bei kleinen Entfernungen das Objekt auf mehreren Detektorelementen abgebildet wird und somit mehrere Pixel im Sinne einer räumlichen Auflösung des Objektes ausgewertet werden müssen. 20 25 30

Das Verfahren und die Vorrichtung sind nicht nur für das Erkennen von bedrohenden Flugkörpern von einem bedrohten Flugzeug aus, sondern ganz allgemein zum Erkennen von fliegenden Objekten von einem bewegten oder stationären Beobachtungsort, z. B. am Boden, verwendbar, sofern diese Objekte bei ihrem Flug Strahlung, insbesondere Wärme und/oder UV-Strahlung abgeben. Die zu erkennenden Flugkörper müssen somit nicht ständig oder zumindest kurzfristig durch Triebwerke angetriebene Flugkörper sein. Es kann auch Strahlung detektiert werden, die durch die Reibung des Flugkörpers bei dessen Flug durch die Atmosphäre erzeugt wird. Aktive Sensoren sind bei dem beschriebenen Verfahren nicht notwendig.

Für die folgende Betrachtung wird angenommen, daß der Warnsensor einen passiven abbildenden Sensor aufweist, der bei zwei Wellenlängen λ_1 und λ_2 arbeitet, und daß es sich bei dem Objekt um einen angetriebenen Flugkörper mit einem oder mehreren Triebwerken handelt. Das detektierte Sensor- oder Bildsignal P_1 bzw. P_2 bei den beiden Wellenlängen hängt von den atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten A_1 bzw. A_2 und der vom Flugkörperabgasstrahl emittierten Strahlungsleistung P_{FK1} bzw. P_{FK2} und der Entfernung R zwischen Flugkörper und Sensor wie folgt ab: 40 45 50

$$P_i = \frac{F_i}{R^2} \int P_{FKi} e^{-A_i R} d\lambda \quad (1)$$

$$P_i \approx \frac{F_i \cdot \Delta\lambda_i}{R^2} P_{FKi} e^{-A_i R} \quad 55$$

Hierbei ist $i = 1$ oder 2 , F_i die durch das Filter mitbestimmte effektive Detektorfläche bei der Wellenlänge λ_i , $\Delta\lambda_i$ die effektive spektrale Breite des Filters und η_i ein von der Wellenlänge abhängiger Effizienzfaktor. Das Verhältnis der Bildsignale bei den beiden Wellenlängen ist dann: 60 65

$$\begin{aligned} P_1 &= n_1 P_{FK1} \cdot F_1 \cdot \Delta\lambda_1 \cdot \exp [- (A_1 - A_2) R] \\ P_2 &= n_2 P_{FK2} \cdot F_2 \cdot \Delta\lambda_2 \end{aligned}$$

5

$$P_1/P_2 = C \cdot P_{FK1}/P_{FK2} \exp [- (A_1 - A_2) R] \quad (2)$$

Vor der Installation des Warnsensors am Beobachtungsplatz, z. B. im Flugzeug, werden in Eichmessungen die charakteristischen Filterdaten, d. h. die effektive spektrale Breite $\Delta\lambda_i$ und die durch das Filter mitbestimmte effektive Detektorfläche F_i ermittelt. Somit verbleiben als vorläufig noch unbekannte Größen neben der Relativentfernung Flugkörper/Flugzeug die vom Abgasstrahl des Flugkörpers emittierten Intensitäten P_{FK1} und P_{FK2} sowie die Differenz der atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten A_1 und A_2 bei den jeweiligen Wellenlängen λ_1 bzw. λ_2 . Die Differenz der atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten kann für die meisten Fälle als bekannt vorausgesetzt werden, indem sie entweder vorhandenen Tabellenwerken entnommen oder vom Flugzeug aus gemessen wird. In vielen Fällen kann auch das Verhältnis der vom Abgasstrahl eines anfliegenden Flugkörpers abgestrahlten Strahlungsleistungen P_{FK1}/P_{FK2} bei den unterschiedlichen Wellenlängen als bekannt vorausgesetzt werden, z. B. wenn die Wellenlängen dicht beieinander liegen und zum anderen, wenn nur eine geringe Anzahl von typverschiedenen Flugkörpern zum Einsatz kommt, deren charakteristische Daten in der Regel auch dem Gegner bekannt sind.

Falls dieses nicht der Fall sein sollte, so kann eine weiter unten angegebene Verfahrensvariante angewendet werden.

Setzt man somit voraus, daß die Differenz der Dämpfungskoeffizienten A_i und das Verhältnis der abgestrahlten Intensitäten P_{FK1} bekannt sind, dann hängt das Verhältnis der detektierten Leistungen entsprechend der obigen Gleichung (2) nur noch exponentiell von der Entfernung R zwischen Flugkörper und Flugzeug ab, wobei die Änderung dieses Verhältnisses mit der Entfernung R entscheidend vom Unterschied der atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten A_1 und A_2 bestimmt ist.

Zur Erzielung einer ausreichenden Genauigkeit ist erforderlich, bei solchen Wellenlängen zu arbeiten, die eine Differenz der atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten $(A_1 - A_2) > 1/R_{min}$ ergeben, wobei R_{min} die Entfernung ist, bei der ein anfliegender Flugkörper in jedem Falle detektiert sein sollte. Wenn R_{min} als 2,5 km vorgegeben wird, dann sollte die Differenz $(A_1 - A_2)$ mindestens $0,4 \text{ km}^{-1}$ betragen. Es bietet sich nun an, bei Wellenlängen in der spektralen Nähe von atmosphärischen Absorptionslinien zu arbeiten, und zwar vorzugsweise von Absorptionslinien, die durch Gase bedingt sind, deren Konzentration nur wenig mit den klimatischen Bedingungen schwankt. Demgemäß sollten Absorptionslinien vermieden werden, die etwa durch Wasserdampf bedingt sind.

Im folgenden werden für einen UV-Warnsensor und einen IR-Warnsensor Beispiele zur Entfernungsbestimmung beschrieben.

Ein UV-Sensor arbeitet normalerweise im "solarblinden" Bereich des UV-Spektrums mit einer effektiven Arbeitswellenlänge $\lambda_1 < 280 \text{ nm}$. Diese Arbeitswellenlänge liegt schon in der langwelligen Flanke der Ozonabsorptionsbande bei 255 nm. Durch Zusatz eines geeigneten Filters, der die Wahl der zweiten Wellenlänge λ_2 zwischen 300 nm und 320 nm erlaubt, kann die Differenz der atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten $(A_1 - A_2)$ groß genug gemacht werden, um ausreichende Genauigkeit bei der Quotientenbestimmung entsprechend der Gleichung (2) zu erzielen. Dieses Verfahren der Entfernungsbestimmung arbeitet besonders gut bei einem Nachteinsatz. Wird der UV-Sensor bei Tage eingesetzt, so kann durch den dann größeren Anteil von UV-Hintergrundlicht ein Mehraufwand in der Bildverarbeitung zur Ermittlung des Bildsignals des Flugkörpers nötig werden.

Der Unterschied der atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten bei den beiden Wellenlängen hängt bei einem solchen UV-Warnsensor primär von der Ozonkonzentration ab; diese variiert mit dem Ort und mit der Tages- bzw. Jahreszeit.

Falls die Ozonkonzentration in dem betreffenden Einsatzgebiets des Flugzeuges nicht bekannt ist, kann sie auch an Bord des Flugzeuges z. B. in Verbindung mit einem Laser-Entfernungsmeßgerät bestimmt werden. Ein solcher Entfernungsmeßgerät arbeitet normalerweise auf der Basis eines gepulsten Nd:YAG-Lasers. Durch Verwendung der höheren Harmonischen, insbesondere der vierfachen Laserfrequenz bei einer Wellenlänge von ca. 265 nm, die in der Nähe des Maximums der Ozon-Absorptionsbande liegt, wird aus der rechnerischen Auswertung des rückgestreuten Lichtes ein Maß für die Ozonkonzentration in der Nähe des Warnsensors bzw. des Flugzeuges ermittelt.

Wenn die emittierten Intensitäten P_{FK1} bzw. P_{FK2} des Flugkörpers bei den gewählten Wellenlängen sehr unterschiedlich sind, kann durch eine geeignete Sektorierung des Filters erreicht werden, daß die über die Zeit gemittelten detektierten elektrischen Signale nährungsweise gleich groß sind. Auf diese Weise kann das Signal-Rausch-Verhältnis des Gesamtsignals P_1/P_2 deutlich verbessert werden.

Sensoren im IR-Bereich arbeiten vorzugsweise im mittleren Infrarot, d. h. im Spektralbereich zwischen etwa 3 μm und 5 μm . In diesem Spektralbereich wird auch Strahlung von dem Abgasstrahl des anfliegenden Flugkörpers emittiert. Hier bietet es sich an, bei zwei Wellenlängen in der Nähe der CO₂-Absorptionsbande, die bei etwa 4,24 μm liegt, zu arbeiten, z. B. mit der Wellenlänge λ_1 auf der kurzwelligen Seite der Absorptionsbande bei etwa 4 μm und mit der Wellenlänge λ_2 auf der langwelligen Seite zwischen 4,4 und 4,7 μm . Da die atmosphärische Dämpfung in dem letztgenannten Spektralbereich mit dem Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre deutlich

anwächst und daher auch die Differenz der Dämpfungswerte ($A_1 - A_2$) entsprechend mit beeinflußt, kann diese Differenz durch Bestimmen des Wasserdampfgehaltes der umgebenden Atmosphäre rechnerisch an den jeweiligen Ortswert angepaßt werden. Zusätzlich könnten auch die Dämpfungskoeffizienten bei den Wellenlängen λ_2 in-situ bestimmt werden, wenn sich an Bord des betreffenden Flugzeuges ein gepulster Laser mit Wellenlängen in dem betreffenden Spektralbereich befindet, so daß aus dem von der Atmosphäre rückgestreuten Lasersignal die Dämpfung ermittelt werden kann.

5

Ob ein Warnsensor im UV- bzw. IR-Bereich verwendet wird, hängt von mehreren Faktoren ab, u. a. der atmosphärischen Dämpfung, der Sensorempfindlichkeit, der UV- oder IR-Hintergrundstrahlung und der Flugzeugmission. Abbildende IR-Sensoren sind zur Zeit nur als Abtastsensoren mit einer Sensorzeile erhältlich, wohingegen UV-Sensoren mit "staring arrays" erhältlich sind. Mit letzteren Sensoren ist eine schnellere Aufbereitung der Bildsignale möglich, so daß bei gleicher Beobachtungszeit des anfliegenden Flugkörpers mehr bzw. rauschärmere Daten als bei einem Abtastsensor zur Verfügung stehen. Somit kann der nutzbare Entfernungsbereich größer und die zu erwartenden Quote von falschen Alarmen niedriger sein. Ebenso können UV-Sensoren dann von Vorteil sein, wenn der Flugkörper das Flugzeug vom Heck her anfliegt: IR-Sensoren könnten durch die von den Abgasstrahlen der Flugzeugtriebwerke abgegebene IR-Strahlung gestört werden. Allgemein wird ein UV-Sensor vorzuziehen sein, wenn Boden-Luft-Flugkörper mit geringerer Reichweite identifiziert werden sollen; bei größeren Höhen werden IR-Warnsensoren vorgezogen werden, insbesondere wenn Luft-Luft-Flugkörper in größeren Entfernung detektiert werden sollen. Dies ist insbesondere wichtig für Hochgeschwindigkeits-Flugkörper, die als Luft-Luft-Raketen lediglich ein kurzzeitig brennendes Triebwerk aufweisen und anschließend aerodynamisch gesteuert werden, wobei sie aber infolge der aerodynamischen Aufheizung, insbesondere der Flugkörperspitze, Infrarotstrahlung abgeben können.

10

Die obige Gleichung (2) kann nicht verwendet werden, wenn der Typ des anfliegenden Flugkörpers nicht bekannt oder nicht feststellbar ist, d. h. wenn keine Daten zum Verhältnis der abgestrahlten Strahlungsleistungen des Flugkörptriebwerkes bei den einzelnen Wellenlängen vorhanden sind. Dann kann aber durch Vergleich des Signalverhältnisses bei verschiedenen Entfernung R_i die Änderung der Entfernung R bestimmt werden. Hierzu werden die Quotienten der obigen Bildsignale P_1 und P_2 an zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten t_1 und t_2 , d. h. für zwei unterschiedliche Entfernung R_1 und R_2 als Verhältnis in Beziehung gebracht. Wenn sich nun innerhalb der Meßzeit $t = (t_2 - t_1)$ zwischen den Entfernung R_1 und R_2 das Verhältnis der vom Objekt bzw. Flugkörper emittierten Strahlungsleistungen P_{FK1}/P_{FK2} kaum ändert, was man durch Wahl von dicht benachbarten Wellenlängen deutlich begünstigen kann, so ergibt sich, daß das Verhältnis der Signalquotienten für unterschiedliche Entfernung nur noch von der Differenz der atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten ($A_1 - A_2$) und von der Entfernungsdifferenz ($R_1 - R_2$) abhängt:

15

20

25

30

$$\frac{P_1/P_2(R_1)}{P_1/P_2(R_2)} = \frac{\exp[-(A_1 - A_2)R_1]}{\exp[-(A_1 - A_2)R_2]} = \exp[-(A_1 - A_2)(R_1 - R_2)] \quad (3)$$

35

Somit kann aus dem Doppelquotienten nach dieser Gleichung (3) die Entfernungsdifferenz und damit die Relativgeschwindigkeit V_R zwischen Flugkörper und Flugzeug durch Signalauswertung bestimmt werden:

40

$$V_R = (R_1 - R_2)/t \quad (4)$$

45

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

45

Die Erfindung ist in Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser stellen dar:

Fig. 1 schematisch einen Warnsensor gemäß der Erfindung mit einem einzigen abbildenden passiven Detektor und einem Filter für zwei unterschiedliche Wellenlängen;

50

Fig. 2 schematisch einen Filter mit zwei Sektoren für die beiden unterschiedlichen Wellenlängen;

Fig. 3 schematisch einen Filter, dessen Empfindlichkeit für die unterschiedlichen Wellenlängen elektrisch umschaltbar ist; und

55

Fig. 4 einen Warnsensor gemäß der Erfindung, der mit zwei separaten Detektoren mit zugeordneten Filtern arbeitet.

60

In Fig. 1 ist von einem Warnsensor 1 eine Optik 2 und ein Sensor 3 dargestellt, der, wie schematisch angegeben, eine Anordnung aus mehreren kleinen Einzeldetectoren ist. Vor der Optik ist eine kreisförmige Filterscheibe 4 angeordnet, die, wie durch den Pfeil angedeutet, um die optische Achse des Warnsensors rotiert. Die Filterscheibe 4 ist schematisch in Fig. 2 dargestellt. Sie hat zwei Sektoren S1 und S2 und ggf. zwei zwischen diesen Sektoren liegende Dunkelsektoren D. Die Sektoren S1 und S2 haben jeweils eine definierte Transmission für eine Wellenlänge λ_1 , λ_2 bzw. einen Wellenlängenbereich $\Delta\lambda_1$, $\Delta\lambda_2$; die Sektorgröße ist an den jeweiligen Anwendungsfall angepaßt, um, wie oben bei der Entfernungsbestimmung mit Hilfe eines UV-Warnsensors erwähnt, durch diese geeignete Sektorierung zu erreichen, daß die über die Zeit gemittelten detektierten Bildsignale näherungsweise gleich groß sind.

65

70

75

80

85

Die Bildsignale werden einer Auswerteschaltung 5 zugeführt, die eine Auswertung anhand der oben angegebenen Quotientengleichungen vornimmt. Vorab werden in die Auswerteschaltung die sensorcharakteristischen Daten, wie Transmissionsbereich und effektive Detektorfläche, über eine Eingabeeinheit 6 eingegeben. Ferner werden der Auswerteschaltung 5 über eine Eingabeeinheit 7 die gemessenen oder anderweitig vorgegebenen atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten A_i und das den Abgasstrahl des anfliegenden Flugkörpers charakterisierende Verhältnis der Strahlungsintensitäten P_{FK1}/P_{FK2} eingegeben. Die Ergebnisse der Auswerteschaltung 5

werden einem Rechner 8 zugeführt, in dem Gegenmaßnahmen gegen den anfliegenden Flugkörper vorbereitet werden, ferner noch einer Anzeige 9, auf der relevante Ergebnisse dem Bedienungspersonal des angegriffenen Flugzeuges dargestellt werden.

Anstelle eines rotierenden Filters kann ein Filter 4a entsprechend Fig. 3 verwendet werden. Bei diesem Filter wird das Transmissionsband mit einem elektrischen Wechselsignal verschoben. Auf diese Weise wird es auch leichter, eine weitgehend spektral homogene Hintergrundstrahlung durch Differenzbildung in ihrer Auswirkung auf das Bildsignal zu reduzieren.

In Fig. 4 ist eine Anordnung mit zwei passiven abbildenden Detektoren 3₁ und 3₂ gezeigt, die wiederum jeweils als Anordnung aus kleinen Einzeldetektoren aufgebaut sind. Die durch die Eingangsoptik 2 fallende Strahlung wird mit einem Strahltreiler 11 auf zwei Wege gelenkt: im ersten Weg ist ein für einen ersten Wellenlängenbereich empfindlicher Filter 4₁ und der erste Sensor 3₁ gelegen, der das erste Bildsignal P₁ abgibt; im zweiten Weg ist ein für den zweiten Wellenlängenbereich empfindlicher Filter 4₂ und der zweite Sensor 3₂ gelegen, der das zweite Bildsignal P₂ abgibt. Die Bildsignale werden, wie zur Fig. 1 beschrieben, in einer Auswerteschaltung weiterverarbeitet. Diese Ausführungsform erfordert mehr Volumen als diejenige mit nur einem Sensor; außerdem ist eine Harmonisierung der Signale der beiden Einzelsensoren notwendig.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der Entfernung eines durch die Atmosphäre fliegenden, Strahlungsenergie abgebenden Objektes, bei dem die vom Objekt abgegebene Strahlung mit einem passiven abbildenden Sensor erfaßt wird, die Sensorsignale entsprechend der von dem Sensor detektierten Strahlungsleistung des Objektes bei zumindest zwei unterschiedlichen schmalen Wellenlängenbereichen, bei denen die atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten unterschiedlich sind, ermittelt werden, das Verhältnis von jeweils zwei Sensorsignalen bei unterschiedlichen Wellenlängenbereichen gebildet wird, und daraus die Entfernung zum Objekt bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem bei einem durch Triebwerke angetriebenen Objekt dieses zumindest in der Antriebsphase erfaßt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Messungen bei zwei unterschiedlichen schmalen Wellenlängenbereichen durchgeführt werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem Entfernungen des Objektes zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten bestimmt werden und aus der Entfernungsdifferenz und der Zeitdifferenz der beiden Zeitpunkte die Geschwindigkeit des Objektes ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die unterschiedlichen schmalen Wellenlängenbereiche in der Nähe von atmosphärischen Absorptionslinien liegen, vorzugsweise in der Nähe von solchen Absorptionslinien, die durch Gase bedingt sind, deren Konzentration nur wenig mit den klimatischen Bedingungen schwankt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die unterschiedlichen schmalen Wellenlängenbereiche bei einer Wellenlänge $\lambda < 350 \text{ nm}$ auf der langwelligen Seite der Ozon-Absorptionslinie liegen, deren Schwerpunkt sich bei etwa 255 nm im ultravioletten Spektralbereich befindet.
7. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem die unterschiedlichen schmalen Wellenlängenbereiche im mittleren Infrarot auf der kurzweligen und langwelligen Seite der CO₂-Absorptionslinie bei etwa 4,25 μm liegen.
8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, mit: einer Eingangsoptik (2) mit einer Filteranordnung (4, 4a, 4₁, 4₂) für mehrere unterschiedliche Wellenlängenbereiche, bei denen die atmosphärischen Dämpfungskoeffizienten unterschiedlich sind; einem passiven abbildenden Sensor (3; 3₁, 3₂) zum Erfassen der Strahlung des Objektes bei den unterschiedlichen Wellenlängenbereichen; einer Auswerteschaltung (5) zum Berechnen des Verhältnisses der Sensorsignale (P_i) bei den zwei unterschiedlichen Wellenlängenbereichen und zur Berechnung der Entfernung des Objektes daraus.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der die Filteranordnung einen Filter (4, 4a) aufweist, der für die zwei unterschiedlichen Wellenlängenbereiche durchlässig ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, bei der der Filter ein rotierender Filter mit mehreren, für unterschiedliche Wellenlängenbereiche durchsichtigen Sektoren (S₁, S₂) ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9, bei der der Filter (4a) aus einem Material besteht, dessen spektraler Durchlaßbereich elektrisch zwischen unterschiedlichen Wellenlängenbereichen durchlässig umgeschaltet werden kann.
12. Vorrichtung nach Anspruch 8, bei der für jeden Wellenlängenbereich ein eigener optischer Weg mit jeweils einer Filteranordnung (4₁, 4₂) vorgesehen ist.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, bei der die optischen Wege durch einen Strahltreiler (11) voneinander getrennt sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Fig.1

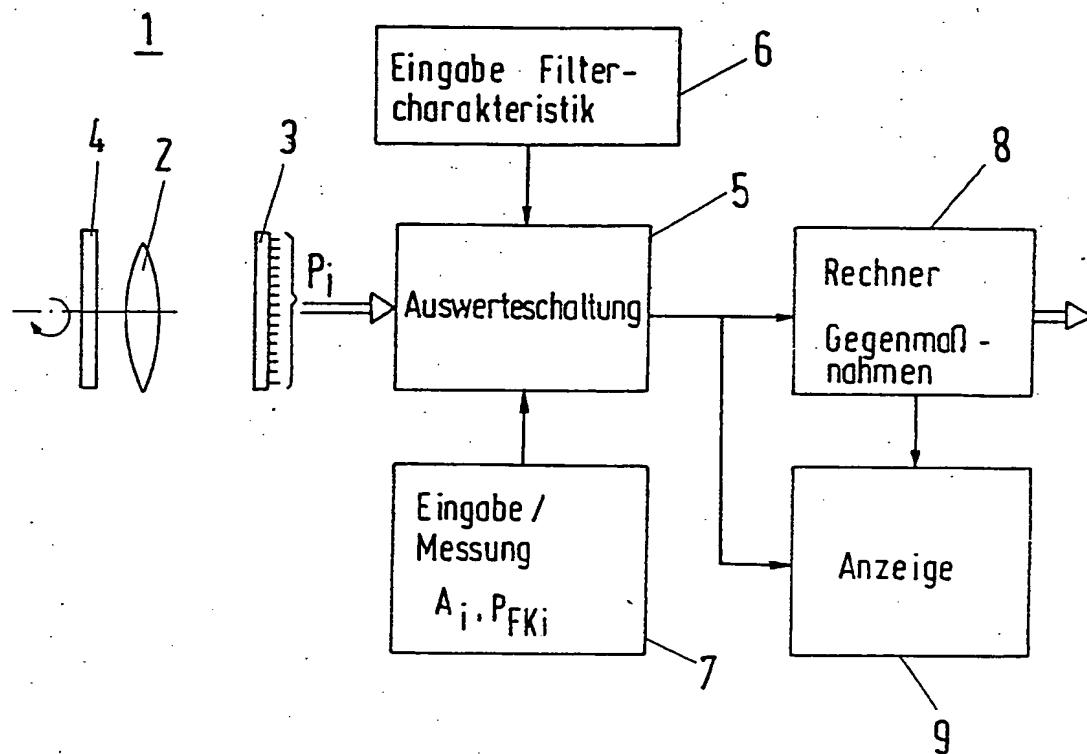


Fig.2

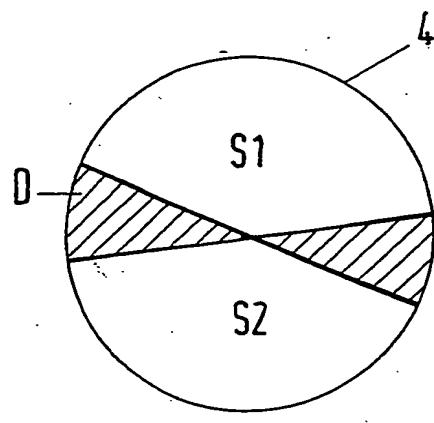


Fig.3

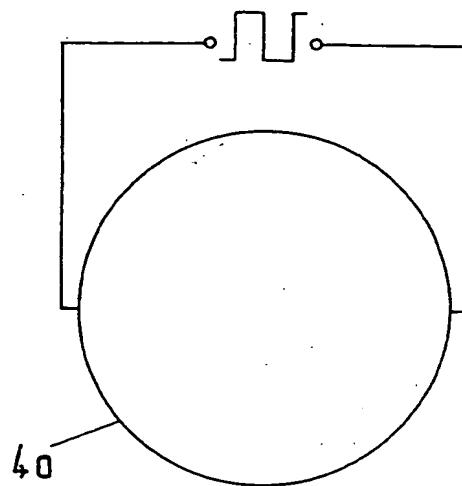


Fig.4

